PHOTOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

DER

MATHEMATISCHEN UND
NATURWISSENSCHAFTLICHEN FACULTÄT

DER

KAISER-WILHELMS-UNIVERSITÄT STRASSBURG

ZUR ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VORGELEGT VON

WILHELM MÖLLER
AUS RENDSBURG.

BERLIN 1884.
GEDRUCKT IN DER REICHSDRUCKEREI.

Verlagsbuchhandlung von Julius Springer in Berlin N.

PHOTOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

DER

MATHEMATISCHEN UND
NATURWISSENSCHAFTLICHEN FACULTÄT

DER

KAISER-WILHELMS-UNIVERSITÄT STRASSBURG

ZUR ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VORGELEGT VON

WILHELM MÖLLER
AUS RENDSBURG.

BERLIN 1884.
GEDRUCKT IN DER REICHSDRUCKEREI.

§ 1. Uebersicht über die hauptsächlichsten Photometer.

Sämmtliche Photometer, mit Ausnahme von dreien,[1]) lassen sich im Grofsen und Ganzen in drei Abtheilungen vereinigen:

1) in solche, vermittelst deren zwei Lichtquellen, oder deren Bilder, oder zwei von ihnen beleuchtete Flächen direkt mit bloſsem Auge verglichen werden; dahin gehören die Photometer von Lampadius, Lambert, Bouguer, Wollaston, Steinheil,[2]) Ritchie, Talbot, Rumford, Bunsen, Beer, Yvon,[3]) Wolf,[4]) Weber[5]) u. s. w.;

2) in Polarisations-Photometer, wobei diejenigen, welche die Helligkeit zweier zur Berührung gebrachter Flächen direkt ver-

---

[1]) Das Universal-Vibrationsphotometer von Schafhäutl und die beiden Keilphotometer von Pickering und Hähnlein. Bezüglich des ersteren vgl. Schafhäutl, Abbildung und Beschreibung des Universal-Vibrationsphotometers. Münchener Abhandlungen VII, S. 465. Dieses Photometer beruht auf dem durchaus noch nicht erwiesenen Satze, dafs die Intensität eines kurz andauernden Lichtstrahles proportional ist dem Quadrate der Dauer des Lichteindruckes, den derselbe auf der Netzhaut bewirkt. Bezüglich der Keilphotometer vgl. The Observ., 1882, p. 231, und Dinglers Polytechnisches Journal, 244, S. 54. In diesen wird die Intensität eines Lichtstrahles an einem keilförmigen, wenig durchsichtigen Körper durch die Dicke desselben an einer solchen Stelle gemessen, an welcher der Lichtstrahl gerade anfängt, beim Durchgange vollständig absorbirt zu werden.

[2]) Poggendorffs Annalen, Bd. 34, S. 644.

[3]) Poggendorffs Annalen, Bd. 148, S. 334.

[4]) Journal de physique, T. 1, p. 81.

[5]) Wiedemanns Annalen, Bd. 20.

gleichen, sei es für weifses Licht, sei es für die einzelnen Farben des Spektrums, von denjenigen zu unterscheiden sind, welche die Gleichheit indirekt am Verschwinden gewisser Interferenzerscheinungen erkennen lassen; zur ersteren Unterabtheilung gehören die Photometer von Arago, [1]) Bernard, [2]) Vierordt, [3]) Zöllner, [4]) Glan, [5]) Gouy, [6]) u. s. w., zur letzteren diejenigen von Babinet, [7]) Fraunhofer, [8]) Fuchs, [9]) Trannin, [10]) das erste [11]) und zweite [12]) Photometer von Wild, Krech [13]) u. s. w.;

3) in solche, welche die Schwärzung lichtempfindlichen Papiers zur Vergleichung von Lichtstärken benutzen; hierher gehören die Photometer von Bunsen und Roscoe, [14]) Vogel, [15]) Guthrie, [16]) v. Monckhoven, [17]) Eder, [18]) Jannsen [19]) u. s. w.

Die erste Abtheilung enthält durchweg die ältesten Photometer, welche an Genauigkeit viel zu wünschen übrig lassen; nur das Bunsen'sche Photometer zeichnet sich unter ihnen aus und wird noch heutzutage in der Technik seiner Einfachheit wegen mit Vorliebe benutzt. Die Photometer der dritten Abtheilung, zumeist der

---

1) Oeuvres complètes, T. 10.
2) Annales de chimie et physique, T 35.
3) Poggendorffs Annalen, Bd. 140.
4) Poggendorffs Annalen, Bd. 100, S. 381.
5) Wiedemanns Annalen, Bd. 1, S. 351.
6) Annales de chimie et physique, T. 18, p. 5.
7) Comptes rendus, T. 37, p. 774.
8) Gilberts Annalen, Bd. 56, S. 297.
9) Wiedemanns Annalen, Bd. 11, S. 465.
10) Journal de physique, T. 5, S. 297.
11) Poggendorffs Annalen, Bd. 99, S. 235.
12) Poggendorffs Annalen, Bd. 118, S. 193.
13) Wissenschaftliche Beilage zum Programme des Luisenstädtischen Gymnasiums. Ostern 1883. Berlin.
14) Poggendorffs Annalen, Bd. 117, S. 529.
15) Poggendorffs Annalen, Bd. 134, S. 146.
16) Chemical News, T. 40, p. 262.
17) Photographische Mittheilungen, Bd. 16, S. 129.
18) Wiener Berichte, Bd. 80.
19) Comptes rendus, T. 92, p. 821.

neuesten Zeit angehörig, messen das Licht nicht als Helligkeit fürs Auge, sondern durch seine chemische Wirkung, und können nur insofern als Lichtmesser benutzt werden, als die Intensität der leuchtenden Strahlen ihrer chemischen Wirkung proportional ist. Für genauere Untersuchungen können nur die unter 2) genannten Polarisations-Photometer in Betracht kommen; und es läfst sich nach den Angaben der verschiedenen Autoren über die Genauigkeitsgrenzen ihrer Photometer vermuthen, dafs das von Herrn Wild konstruirte und im Jahre 1862 vervollkommnete Photometer die besten Resultate liefern wird.

Dieses Photometer habe ich genauer untersucht und werde darüber an einer anderen Stelle berichten. Aufserdem aber habe ich an demselben eine Vereinfachung vorgenommen, welche es vornehmlich für technische Zwecke geeignet machen dürfte. Während meiner Untersuchung erhielt ich eine Publikation [1]) des Herrn Wild, in welcher derselbe ebenfalls eine Vereinfachung seines Photometers beschreibt, die mit der meinigen im Wesentlichen übereinstimmt. Indem ich bezüglich des ursprünglichen Wild'schen Photometers und der neuerdings von ihm an demselben vorgenommenen Vereinfachung auf die betreffenden Abhandlungen verweise, gebe ich nachstehend eine kurze Beschreibung des vereinfachten Wild'schen Photometers, wie ich dasselbe benutzte.

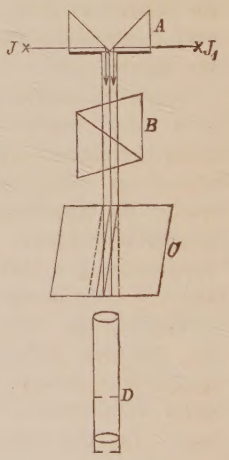
§ 2. Das vereinfachte Wild'sche Photometer.

Die einzelnen Theile des Photometers, Fig. 1, sind auf einem **T**-förmigen Lineal hinter ein-

[1]) Bulletin de l'acad. imp: des sciences de St. Pétersbourg, T. 11, S. 743.

ander befestigt. Die von den beiden zu vergleichenden Lichtquellen (J und J_1) ausgehenden Lichtstrahlen gelangen zunächst in den aus zwei rechtwinkligen Glasprismen bestehenden Prismenapparat A, welcher keinen weiteren Zweck hat, als die Strahlen in geeigneter Weise zur Untersuchung zu bringen. Auf die hinteren Flächen der beiden Prismen sind schwarze Papierstücke geklebt, welche an der Berührungslinie der Prismen Streifen von solcher Breite frei lassen, dafs von den beiden sie durchsetzenden Lichtbündeln, die in ihrem weiteren Verlauf im Nikol B polarisirt und durch das Kalkspathrhomboeder C zerlegt werden, der ordentlich gebrochene Theil des einen und der aufserordentlich gebrochene Theil des anderen an der Hinterfläche des Rhomboeders zwischen den beiden Bildern der Berührungslinie an einander stofsen. Vor dem Rhomboeder befindet sich ein gewöhnliches Fernrohr D,

Fig. 1.



das auf die Ebene der beiden zwischen ihnen gelegenen Felder eingestellt ist; im Bildpunkte des Fernrohres ist ein Diaphragma angebracht, welches behufs genauerer Einstellung das Gesichtsfeld desselben bis auf kleine Theile der zu vergleichenden Felder abblendet. Die Beobachtung mit dem Photometer erfolgt nun in der Weise, dafs der Polarisator B bis auf gleiche Helligkeit dieser beiden Felder gedreht wird, was sich um so genauer ausführen läfst, je gleich-

mäfsiger dieselben beleuchtet sind; es sind daher vor den Oeffnungen des Prismenapparates matte Glasplatten angebracht. Die Justirung des Apparates besteht einfach darin, dafs Polarisator und Rhomboeder senkrecht zur Sehlinie des Fernrohres gestellt werden, und dafs die Drehungsaxe des ersteren mit der Photometeraxe zum Zusammenfallen gebracht wird.

Sind die von den beiden zu vergleichenden Lichtquellen herrührenden Lichtstrahlen unpolarisirt, und heifsen ihre Intensitäten J und J_1, ist ferner α der Winkel zwischen Polarisator und Rhomboederhauptschnitt, wenn auf gleiche Helligkeit eingestellt ist, so gilt die Gleichung:

$$\frac{J}{J_1} = C \cdot \mathrm{tg}^2 \alpha,$$

worin C die sogenannte Konstante [1]) des Photometers ist. Sind jedoch die Lichtstrahlen zum Theil polarisirt, so findet zwischen den Intensitäten der zu vergleichenden Lichtquellen eine verwickeltere Beziehung statt, welche später hergeleitet werden soll.

Das vereinfachte Photometer gestattet für ein einigermafsen geübtes Auge eine sehr genaue Einstellung. Vor dem ursprünglichen Wild'schen Photometer hat es den Vortheil, der bei manchen photometrischen Messungen von grofser Wichtigkeit ist, dafs es behufs sicherer Einstellung eine viel geringere Lichtintensität erfordert. Es dürfte sich daher namentlich für die Technik empfehlen; wenn auch die Herstellungskosten für dasselbe bedeutend höher sind als für das in der Technik bis jetzt am meisten gebräuchliche Bunsen'sche Photometer, so hat es doch vor diesem eine bei Weitem gröfsere Empfindlichkeit voraus.

---

1) Poggendorffs Annalen, Bd. 118.

Mit dem beschriebenen Photometer habe ich zweierlei Untersuchungen angestellt:

1. habe ich versucht, für das Licht-Emanationsgesetz einen empirischen Nachweis zu liefern;
2. habe ich, um die technische Verwendbarkeit des Instrumentes zu zeigen, relative Intensitätsmessungen an den hauptsächlichsten Glühlampen angestellt. Im ersten Theile dieser Arbeit gebe ich nebst einer historischen Einleitung die Untersuchungen über das Emanationsgesetz, im zweiten die Messungen an den Glühlampen.

I. Das Licht-Emanationsgesetz.

§ 3. Historische Uebersicht.

Seitdem Lambert auf Grund der später von Bouguer als unrichtig nachgewiesenen Beobachtung, [1]) dafs die Sonne als gleichmäfsig hell leuchtende Scheibe erscheine, das nach ihm benannte Licht-Emanationsgesetz aufstellte, nach welchem sich die Intensitäten der von einer leuchtenden Fläche ausgesandten Lichtstrahlen wie die Kosinusse ihrer Emanationswinkel verhalten, und auch versuchte, für dasselbe einen geometrischen Beweis [2]) zu liefern, der jedoch, wie Zöllner in seinen »Photometrische Untersuchungen« bemerkt, als ungenügend zu betrachten ist, hat man für die Annahme der Richtigkeit jenes Gesetzes keine weiteren Gründe gefunden als diejenigen, welche sich aus der Analogie der Lichtstrahlen mit den Wärmestrahlen ergeben. Für letztere haben Leslie [3]) und Melloni [4]) das sogenannte

---

[1]) Photometria, § 73.
[2]) Photometria, § 85,
[3]) Leslie, experimental inquiry into the nature and propagation of heat. London 1804. Leslie giebt in seinem Versuche keine Zahlen an, bemerkt aber, dafs er für sehr geneigte Winkel

Kosinusgesetz nachzuweisen gesucht; und da sich die Lichtstrahlen in allen bis jetzt bekannten Erscheinungen ebenso verhalten wie die Wärmestrahlen, so durfte man gewifs ohne Bedenken jenes Gesetz auch auf die Lichtstrahlen anwenden; man glaubte sich umsomehr dazu berechtigt, als die von Fourier [5]) zum Beweise desselben für die Wärmestrahlen gemachte Annahme, dafs sich an der Ausstrahlung nicht nur die in der Oberfläche gelegenen Punkte betheiligen, sondern auch noch Punkte bis zu einer bestimmten Tiefe, ohne Weiteres auf die Lichtstrahlen übertragen werden kann — eine Annahme, zu welcher übrigens Arago [6]) aus ganz anderen Gründen veranlafst wurde.

Experimentell ist jedoch das Kosinusgesetz für Lichtstrahlen noch nicht nachgewiesen worden; der einzige Versuch wurde von Bouguer [7]) angestellt, indem er das an matten Flächen zerstreut reflektirte Licht unter verschiedenen Winkeln photometrisch untersuchte. Es ist indessen nicht ohne Weiteres einzusehen, dafs sich diffus reflektirende Oberflächen wie selbstleuchtende verhalten sollen — und in der That zeigen auch seine Messungen, selbst wenn man die gröfstmöglichen Beobachtungsfehler zuläfst, dafs von einer Bestätigung des Kosinusgesetzes keine Rede sein kann. Seitdem sind meines Wissens keine weiteren Versuche angestellt worden.

Abweichungen von 5% bis 10% erhalten habe, welche nach seiner Meinung umsomehr verschwinden würden, je weiter das Differenzialthermometer von der Wärme ausstrahlenden Fläche entfernt werden würde.

4) Poggendorffs Annalen, Bd. 65. Auch Melloni giebt keine Zahlen an, nicht einmal eine Beschreibung des Versuches; er sagt nur, dafs man sich leicht von der Richtigkeit des Kosinusgesetzes überzeugen könne.

5) Théorie analytique de la chaleur und Annales de chimie et physique, T. VI.

6) Oeuvres complètes, deutsche Uebersetzung, Bd. 7.

7) Traité d'optique.

§ 4. Ueber die Untersuchungsmethoden.

Es giebt zwei Wege, das Emanationsgesetz zu prüfen. Der erste Weg ist genau derselbe, den Leslie und Melloni bei ihren Untersuchungen über die Wärmestrahlen einschlugen. Man ersetze, Fig. 2, die Wärme ausstrahlende Fläche durch eine gleichmäfsig leuchtende Fläche *a b*, das Thermometer durch ein Photometer und stelle die leuchtende Fläche nebst einem vor ihr befindlichen Diaphragma von geeigneter Gröfse — oder mehrere Diaphragmen hinter einander — vor die eine Oeffnung und irgend eine Vergleichslichtquelle vor die andere

Fig. 2.

Oeffnung des Photometers. Wenn man nun die leuchtende Fläche in mefsbarer Weise gegen die Photometeraxe neigt, so mufs man, wenn überhaupt das Kosinusgesetz Gültigkeit hat, in allen ihren Stellungen dieselben Ablesungen erhalten, vorausgesetzt, dafs sie nebst dem vor ihr befindlichen Diaphragma genügend weit vom Photometer entfernt ist und in den Helligkeiten der beiden Lichtquellen keine unregelmäfsigen Schwankungen eintreten. Letztere Bedingung dürfte jedoch bei der relativ grofsen Ausdehnung der leuchtenden Fläche, wie sie zu diesem Versuch erforderlich ist, kaum zu erfüllen sein.

Es liegt im vorliegenden Falle allerdings sehr nahe, die selbstleuchtenden Flächen durch an-

dere zu ersetzen, sei es durch zerstreut reflektirende, sei es durch diffus transparente oder etwa phosphoreszirende Flächen. Aber, wie schon angedeutet, sind die Aenderungen, welche das Licht beim Durchgange durch diffus transparente Flächen erfährt, ebenso wenig zu übersehen, wie die bei der diffusen Reflexion eintretenden Vorgänge, so dafs es vielleicht gar nicht einmal möglich ist, auf diese Weise eine Bestätigung des Kosinusgesetzes zu erhalten. Diese Bedenken fallen freilich bei phosphoreszirenden Flächen fort, da dieselben sich vollkommen wie selbstleuchtende Flächen verhalten; an ihnen liefse sich daher ohne Zweifel das Kosinusgesetz prüfen, wenn es möglich wäre, Phosphoreszenzlicht von genügender Stärke und

Fig. 3.

längere Zeit andauernder Konstanz zu erhalten, was vielleicht mit Hülfe eines modifizirten Phosphoroskops zu erreichen wäre. Mit diffus reflektirtem und durchgehendem Lichte, sowie mit Phosphoreszenzlicht habe ich Versuche angestellt, aber ohne Erfolg; letzteres konnte ich nicht in genügender Stärke erhalten.

Der zweite Weg, zum Kosinusgesetze zu gelangen, besteht darin, in der Anordnung des ersten Versuches, unter Fortlassung des Diaphragmas, die Gröfse der leuchtenden Fläche konstant zu erhalten, Fig. 3; in diesem Falle müssen sich die in den verschiedenen Stellungen der leuchtenden Fläche zur Photometeraxe erhaltenen Intensitätswerthe verhalten wie die Kosinusse der Emanationswinkel der im Photometer beobachteten Lichtstrahlen, wenn auch

hier, wie im vorigen Falle, die leuchtende Fläche sich in hinreichend grofsem Abstande vom Photometer befindet und die Helligkeit beider Lichtquellen keine unregelmäfsigen Schwankungen erleidet. Dieser Weg wurde für die nachfolgenden Untersuchungen eingeschlagen. Leuchtende Flächen, welche den obigen Bedingungen genügen, konnten, da sie in diesem Versuche von nur geringer Ausdehnung zu sein brauchten, leicht dadurch erhalten werden, dafs zwei glatte Platinstreifen von ungefähr gleichen Dimensionen, in geeignete Apparate eingespannt, durch einen und denselben Strom zum Glühen gebracht wurden. Einer der Streifen wurde als Vergleichslichtquelle in unveränderlicher Stellung gehalten, der andere in verschiedene Neigungen gegen die Photometeraxe gedreht.

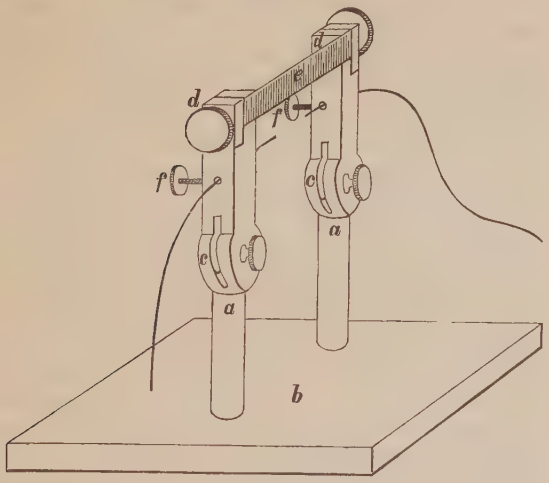
§ 5. Beschreibung der zum Versuche benutzten Glühapparate und Justirung derselben.

Die als Vergleichslichtquelle dienende Glühvorrichtung, Fig. 4, bestand aus den beiden gleich gearbeiteten Messingsäulen *a*, welche in einem Abstande von etwa 50 mm vertikal in der isolirenden Platte *b* (Holzplatte) befestigt waren. Die Messingsäulen setzten sich aus zwei Theilen zusammen, von denen die oberen vermittelst der Scharniere *c* in der durch die Säulen selbst bestimmten Ebene gedreht und mit Hülfe von Schrauben in jeder beliebigen Stellung festgehalten werden konnten. An den freien Enden der drehbaren Theile waren die Klemmvorrichtungen *d* angebracht, zwischen welche der zum Glühen bestimmte Platinstreifen *e* eingespannt wurde. Ungefähr in der Mitte der

drehbaren Messingtheile befanden sich die Klemmen *f*, um die Zuleitungsdrähte aufzunehmen.

Im drehbaren Glühapparate waren die beiden Messingsäulen vermittelst isolirender Elfenbeinschrauben auf einer Kreistheilungsplatte befestigt, derartig, dafs die vertikale Mittellinie des Platinstreifens mit der Drehungsaxe des

Fig. 4.



Apparates zusammenfiel. Um zu verhüten, dafs durch die während der Drehung des Apparates auftretenden Zug- bezw. Druckkräfte der Zuleitungsdrähte an der Stellung der einzelnen Theile zu einander etwas geändert würde, wurden dieselben nicht, wie bei der festen Glühvorrichtung, unmittelbar in den unteren Klemmen befestigt, sondern zunächst zu Quecksilbernäpfchen geführt, welche vermittelst isolirender Substanz auf die Platte der Kreis-

theilung gekittet waren; von hier aus gingen dann kurze Drähte zu den unteren Klemmen.

Die beiden Glühvorrichtungen wurden auf Stative festgeklemmt, welche zu beiden Seiten des Photometers aufgestellt waren. Bevor die Platinstreifen, welche etwa 50 mm lang, 5 mm breit und 0,01 mm dick waren, eingespannt wurden, empfahl es sich, ihre Enden durch mehrfaches Umlegen zu verdicken, um sie so für die Befestigung in den Klemmen geeigneter zu machen. Die Glühvorrichtungen waren hinter einander geschaltet in einem von einer Dynamomaschine gelieferten Strome, welcher so gut wie möglich auf konstanter Intensität erhalten wurde. Waren dann die Platinstreifen nach ihrem Erglühen durch Drehen der oberen Theile der Messingsäulen um die Scharniere *c* geebnet und in dieser Stellung vermittelst der Schrauben befestigt, so konnte man im Photometer nach Beseitigung des Fernrohres Bilder von den beiden leuchtenden Streifen beobachten. Durch seitliches bezw. vertikales Verschieben der Stative mufste nun dafür gesorgt werden, dafs beim senkrechten Hineinblicken ins Photometer in sämmtlichen Stellungen des drehbaren Platinstreifens die Bilder in horizontaler Richtung über einander fielen und in der Mitte des Gesichtsfeldes erschienen.

Hiermit war die eigentliche Justirung beendet. Es erwies sich indefs noch als nothwendig, von den glühenden Platinstreifen unregelmäfsigen Luftzug fernzuhalten, weshalb über dieselben kleine Kistchen mit seitlichen, dem Photometer zugekehrten Oeffnungen gestülpt wurden. Eine gleichmäfsige Beleuchtung des Gesichtsfeldes wurde durch matte, vor die Oeffnungen des Prismenapparates gesetzte Glasplatten erreicht. Aufserdem mufste noch die

Entfernung der Glühvorrichtungen vom Photometer so regulirt werden, dafs der Positionswinkel α, der sich direkt aus den Ablesungen ergiebt, innerhalb der günstigsten Grenzen variirte, d. h. in der Nähe von 45°.

§ 6. Theorie des Versuches.

a) Theorie der Versuchsmethode.

Bekanntlich drückt sich nach Lambert die Helligkeit an einer Stelle, welche von einer leuchtenden Fläche beschienen wird, aus durch folgende Formel:

$$J = \frac{i\,F \cos i_1 \,.\, \cos e}{r^2},$$

worin:

i Helligkeit der Flächeneinheit,

F Gröfse der leuchtenden Fläche,

r Abstand der leuchtenden Fläche von der beleuchteten Stelle,

i_1 Winkel, den die beobachteten Strahlen mit der Normalen zur äufseren Prismenfläche im Prismenapparate bilden (Inzidenzwinkel),

e Winkel, den die beobachteten Strahlen mit der Normalen zur leuchtenden Fläche bilden (Emanationswinkel).

In unserem Versuche sind i und F als konstant zu betrachten; es änderten sich dagegen während der Drehung des Platinstreifens die Gröfsen i_1, r und e. Wie indessen die Beobachtungen zeigen, ist es gestattet in Anbetracht der grofsen Entfernung des drehbaren Platinstreifens von der ihm zugekehrten Oeffnung des Prismenapparates (100 cm) $i_1 = o$, sowie r und e für alle Punkte der leuchtenden Fläche konstant zu setzen, und zwar e gleich dem Neigungswinkel x derselben gegen die Photometeraxe. Dann reduzirt sich die obige Formel auf:

$$J = \text{Const} \,.\, \cos x,$$

d. h. die Intensität der Lichtstrahlen, welche die drehbare Glühvorrichtung ins Photometer sendet, ist nur vom Neigungswinkel derselben gegen die Axe des Photometers abhängig. Betrachten wir nun die feste Glühvorrichtung als eine konstante Lichtquelle, so müssen sich die durch das Photometer gemessenen Werthe für die Intensitäten der von der drehbaren Glühvorrichtung unter verschiedenen Azimuthen ausgesandten Lichtstrahlen im Falle der Gültigkeit des Kosinusgesetzes direkt wie die entsprechenden Kosinuszahlen verhalten.

b) Theorie der Messungen.

Nach Untersuchungen von Arago [1]) strahlen glatte Metalloberflächen im glühenden Zustande senkrecht nur natürliches, in geneigten Richtungen natürliches und polarisirtes Licht aus, und zwar ist letzteres nach Desains [2]) senkrecht zur Emanationsebene polarisirt. Während also die Intensität des vom drehbaren glühenden Platinstreifen emanirten natürlichen Lichtes durch das Nikol auf die Hälfte reduzirt wird, geht von dem in geneigten Azimuthen ausgestrahlten polarisirten Licht ein vom Positionswinkel des Nikols abhängiger Bruchtheil hindurch. Es ist indessen möglich, wie sich aus dem Folgenden ergeben wird, durch Anstellung zweier Beobachtungsreihen, in denen sich der drehbare Platinstreifen das eine Mal auf der einen, das andere Mal auf der anderen Seite des Photometers befindet, den Einfluſs des polarisirten Lichtes zu berücksichtigen. Eine Untersuchung der vor den Oeffnungen des Prismenapparates befindlichen matten Glasplatten ergab, daſs dieselben das Licht etwas

1) Oeuvres complètes, deutsche Uebersetzung, Bd. 7.
2) Poggendorffs Annalen, Bd. 126.

depolarisirten. Durch diese Depolarisation wurde freilich das Intensitätsverhältnifs der von den beiden Platinstreifen ausgesandten Lichtstrahlen nicht geändert, wohl aber das Verhältnifs des vom drehbaren Platinstreifen emanirten natürlichen Lichtes zum polarisirten.

Führen wir folgende Bezeichnungen ein:

J_0 Intensität des vom drehbaren Platinstreifen senkrecht emanirten (natürlichen) Lichtes;

J_2 Intensität des vom drehbaren Platinstreifen schief emanirten natürlichen Lichtes;

P Intensität des vom drehbaren Platinstreifen schief emanirten polarisirten Lichtes;

e Abnahme, welche die Intensität des vom drehbaren Platinstreifen unter schiefen Winkeln ausgesandten polarisirten Lichtes in Folge der theilweisen Depolarisation beim Durchgange durch die matte Glasplatte zu Gunsten der Intensität des gleichzeitig hindurchgehenden natürlichen Lichtes erleidet.

Der feste Platinstreifen war bei sämmtlichen Beobachtungen so aufgestellt, dafs er Lichtstrahlen unter dem Emanationswinkel 0° ins Photometer sandte; die Intensität dieses (natürlichen) Lichtes sei J_1.

α) Drehbare Glühvorrichtung auf der einen Seite des Photometers.

1. Für den Fall, dafs sich die drehbare Glühvorrichtung in ihrer Nullstellung befindet, sind die Intensitäten des von beiden Glühapparaten ausgesandten Lichtes, nachdem es das Nikol passirt:

Feste Gl.: $k\,q\,\frac{J_1}{2}$, Drehb. Gl.: $k\,q\,\frac{J_0}{2}$,

worin q und k Schwächungskoëffizienten der matten Glasplatten bezw. des Nikols sind.

Ist dann das Licht durchs Rhomboeder gelangt, und hat man auf gleiche Helligkeit der beiden von den Glühvorrichtungen beleuchteten Gesichtsfelder im Photometer eingestellt, so ist, wenn man den abgelesenen Winkel γ nennt:

1) $$C \frac{J_1}{2} \cdot \sin^2 \gamma = \frac{J_0}{2} \cdot \cos^2 \gamma,$$

worin C die Konstante des Photometers ist.

2. Für den Fall aber, dafs sich die drehbare Glühvorrichtung in einer beliebigen Stellung befindet, geht zunächst durch die matten Glasplatten

von der festen Gl.: $q J_1$, von der drehb. Gl.: $q [(J_2 + e) + (P - e)]$,

dann durch das Nikol bei einem beliebigen Positionswinkel φ

von der festen Gl.: $k q \frac{J_1}{2}$, von der drehb. Gl.: $k . q \left[\frac{J_2 + e}{2} + (P - e) \sin^2 \varphi \right]$,

und nach dem Durchgange des Lichtes durch das Rhomboeder findet, wenn beim Positionswinkel α auf gleiche Helligkeit der beiden Gesichtsfelder eingestellt ist, und zur Abkürzung gesetzt wird:

$$J_2 + e = J_2', \qquad P - e = P'$$

folgende Gleichung statt:

2) $$C \frac{J_1}{2} . \sin^2 \alpha = \left[\frac{J_2'}{2} + P' \sin^2 \alpha \right] \cos^2 \alpha.$$

Durch Division von Gleichung 1) in Gleichung 2) erhält man:

3) $$\frac{\frac{J_2'}{2} + P' \sin^2 \alpha}{\frac{J_0}{2}} = \operatorname{cotg}^2 \gamma \, . \, \operatorname{tg}^2 \alpha = a.$$

Dies ist diejenige Gröfse, welche wir auf der einen Seite des Photometers beobachten. Um nun die gesuchte Gröfse:

$$4) \qquad \frac{J_2 + P}{J_0} = \frac{J_2' + P'}{J_0} = x$$

zu erhalten, müssen wir entweder die drehbare und feste Glühvorrichtung in ihren Stellungen zum Photometer vertauschen oder, was auf dasselbe hinauskommt, das Rhomboeder um 180° drehen.

β) Drehbare Glühvorrichtung auf der anderen Seite des Photometers.

Machen wir auch hier, wie im vorigen Falle, Einstellungen des Photometers sowohl für den Fall, dafs sich die drehbare Glühvorrichung in der Nullstellung, als auch in einer beliebigen anderen Stellung befindet, so erhalten wir folgende den ersteren analog gebildete Gleichungen:

$$1a) \quad \frac{J_1}{2} \cdot \cos^2 \gamma_1 = C \cdot \frac{J_0}{2} \cdot \sin^2 \gamma_1 ,$$

$$2a) \quad \frac{J_1}{2} \cdot \cos^2 \beta = C \cdot \left[\frac{J_2'}{2} + P' \sin^2 \beta \right] \cdot \sin^2 \beta .$$

Durch Division von Gleichung 1a) in Gleichung 2a) ergiebt sich:

$$3a) \quad \frac{\frac{J_2'}{2} + P' \sin^2 \beta}{\frac{J_0}{2}} = \operatorname{tg}^2 \gamma_1 \cdot \operatorname{cotg}^2 \beta = b.$$

Diese Gröfse beobachten wir auf der anderen Seite des Photometers.

Um nun aus den beobachteten Gröfsen a und b die gesuchte Gröfse x zu bestimmen, subtrahire man Gleichung 3) von Gleichung 3a)

und kombinire die daraus resultirende Gleichung:

$$5) \qquad \frac{P'}{J_0} = \frac{b - a}{2\,[\sin^2\beta - \sin^2\alpha]}$$

mit Gleichung 3); dann erhält man:

$$6) \qquad \frac{J_2' + P'}{J_0} = \frac{J_2 + P}{J_0} = x$$

$$= a + \frac{b - a}{2\,[\sin^2\beta - \sin^2\alpha]} \cdot [1 - 2\sin^2\alpha].$$

Es ist sofort zu übersehen, dafs für solche Azimuthe, in denen kein polarisirtes Licht ausgesandt wird, also $P = 0$ ist, sich die Gröfse x als arithmetisches Mittel aus a und b berechnet.

Beiläufig sei noch bemerkt, dafs die Gleichung, welche aus der Division von Gleichung 5) durch Gleichung 6) resultirt:

$$7) \qquad \frac{P'}{J_2' + P'} = \frac{P - e}{J_2 + P}$$

$$= \frac{b - a}{2\,x\,[\sin^2\beta - \sin^2\alpha]}$$

für jedes Azimuth die Menge desjenigen vom drehbaren glühenden Platinstreifen ausgesandten polarisirten Lichtes liefert, welches als solches noch nach dem Durchgange durch die matte Glasplatte vorhanden ist.

§ 7. Fehler des Versuches.

Zur Beurtheilung des Beobachtungsfehlers, welcher theils durch die Konstruktion des Photometers, theils durch die in den Glühvorrichtungen auftretenden Helligkeitsschwankungen bedingt ist, gebe ich in der folgenden Tabelle eine beliebig herausgegriffene Beobachtungsreihe, bestehend aus fünf Beobachtungen, welche in den vier Quadranten des Nikols angestellt worden sind.

Tabelle I.

Beobachtung	Abweichung vom Mittel	Beobachtung	Abweichung vom Mittel	Beobachtung	Abweichung vom Mittel	Beobachtung	Abweichung vom Mittel	
81° 41′	2′,6	155° 57′	3′,4	261°21′	1′	336° 48′	4′,6	
44′	0′,4	52′	1′,6	20′	2′	35′	8′,4	
48′	4′,4	50′	3′,6	25′	3′	45′	1′,6	
40′	3′,6	56′	2′,4	24′	2′	43′	0′,4	
45′	1′,4	53′	0′,6	20′	2′	46′	2′,6	
Mittel	2′,48	Mittel	2′,32	Mittel	2′	Mittel	3′,52	2′,56

Nehmen wir als Beobachtungsfehler 3′, so beträgt der dadurch im Intensitätsverhältnifs hervorgerufene Fehler im ungünstigsten Falle unseres Versuches, in dem der Positionswinkel α gleich 20° war, 0,5 %.

Hierzu kommt noch ein Fehler, welcher von der unserer Rechnung zu Grunde gelegten Annahme herrührt, dafs in jeder Stellung der drehbaren Glühvorrichtung sowohl die Emanationswinkel als auch die Entfernungen vom Photometer für alle Punkte der leuchtenden Fläche konstant sind, und dafs die beleuchtete Stelle ein Punkt sei, während sie in Wirklichkeit das Stück einer Ebene ist, welches von der vorderen Fläche eines Glasprismas gebildet wird. Eine strenge mathematische Herleitung dieses Fehlers würde eine sehr weitläufige Rechnung erfordern, welche für unseren Fall auszuführen keinen grofsen Werth haben würde, da sich schon ohne Weiteres beim Vergleiche der Dimensionen des drehbaren Platinstreifens (0,5 cm breit, 4 cm lang) mit dessen Entfernung von

der ihm zugekehrten Oeffnung des Prismenapparates (100 cm) übersehen läfst, dafs dieser Fehler von nur geringem Einflusse sein kann, was auch durch die Beobachtungen bestätigt wird.

§ 8. Die Beobachtungen selbst und die sich aus denselben ergebenden Resultate.

Zur Erlangung genauerer Werthe wurden in den vier Quadranten des Nikols Einstellungen auf gleiche Helligkeit gemacht und daraus der Positionswinkel α abgeleitet. Die Beobachtungen wurden von 10° zu 10° angestellt, wobei die bewegliche Glühvorrichtung bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gedreht wurde; unter jedem Azimuthe wurden im Ganzen fünf Beobachtungsreihen ausgeführt (Tabelle II und Tabelle III). In diesen wie in den folgenden Tabellen ist die Intensität des unter dem Emanationswinkel 0° von der drehbaren Glühvorrichtung ausgesandten Lichtes gleich 1 000 gesetzt.

a) Drehbare Glühvorrichtung auf der einen Seite des Photometers.

Tabelle II.

Emanationswinkel	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
Beobachtung I . .	1000	983	933	860	786	658	508	292	77
Beobachtung II . .	1000	980	927	870	778	666	501	302	82
Beobachtung III .	1000	981	938	869	793	677	522	315	85
Beobachtung IV .	1000	981	929	857	774	662	499	295	81
Beobachtung V . .	1000	985	936	865	786	668	509	303	81
Mittel	1000	982	933	864	783	666	508	301	81

b) Drehbare Glühvorrichtung auf der anderen Seite des Photometers.

Tabelle III.

Emanationswinkel	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
Beobachtung I . .	1000	984	938	868	750	631	509	395	233
Beobachtung II . .	1000	986	947	871	753	631	503	393	234
Beobachtung III .	1000	980	946	865	746	622	501	391	234
Beobachtung IV .	1000	984	938	859	740	615	499	387	225
Beobachtung V . .	1000	985	940	868	750	628	506	393	227
Mittel	1000	984	942	866	748	625	504	392	231

c) Bestimmung der Intensitätswerthe des vom drehbaren glühenden Platinstreifen unter verschiedenen Azimuthen ausgestrahlten Lichtes aus den Beobachtungen *a* und *b*.

Zunächst giebt folgende Tabelle eine Uebersicht über die Mittel der zu beiden Seiten des Photometers gemessenen Zahlen *a* und *b*.

Tabelle IV.

Emanationswinkel	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
Kosinuszahlen . .	1000	985	940	866	766	643	500	342	174
Beob. *a* (Mittel) .	1000	982	933	864	783	666	508	301	81
Beob. *b* (Mittel) .	1000	984	942	866	748	625	504	392	231

Aus dieser Tabelle sind die gesuchten Intensitätswerthe nach Gleichung 6) zu berechnen; für die Azimuthe von 0° bis 30° einschliefslich ist es jedoch gestattet, dieselben als arithmetische Mittel aus den beobachteten Zahlen

zu bestimmen, da die unter ihnen gemachten Beobachtungen innerhalb der Fehlergrenzen übereinstimmen, also $P = 0$ ist (vgl. Schlufs des § 6). Die Winkel α und β, welche zur Berechnung der Lichtintensitäten für die Azimuthe von 40° bis 80° erforderlich sind, sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle V.

Emanationswinkel	40°	50°	60°	70°	80°
α (Mittel)	49° 1′	47° 44′	44° 21′	39° 36′	21° 15′
β (Mittel)	39° 14′	41° 29′	45° 2′	50° 13′	56° 25′

Tabelle VI giebt schliefslich die gesuchten Intensitätswerthe und gestattet, dieselben mit den Kosinuszahlen zu vergleichen.

Tabelle VI.

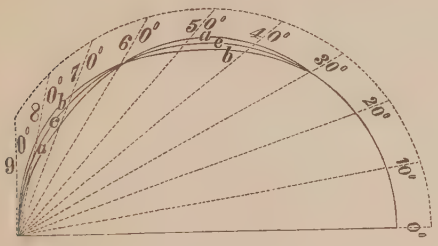
Emanationswinkel	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
Intensitäten	1000	983	938	865	769	648	504	347	179
Kosinuszahlen . .	1000	985	940	866	766	643	500	342	174
Abweichungen . .	0	−2	−2	−1	+3	+5	+4	+5	+5

In Fig. 5 sind die arithmetischen Mittel der zu beiden Seiten des Photometers gemachten Beobachtungen *a* und *b* durch die mit denselben Buchstaben bezeichneten Kurven dargestellt; die aus ihnen hergeleitete Intensitätskurve *c* und die Kurve der Kosinuszahlen sind, wie Tabelle VI zeigt, so wenig von einander verschieden, dafs ihre Abweichungen in der Figur nicht zum Ausdruck gebracht werden konnten. Die gröfste Abweichung beträgt

0,5 %: der Beobachtungsfehler aber beläuft sich im ungünstigsten Falle gleichfalls auf 0,5 %, und hierzu kommt noch der Fehler, welcher durch die in unserer Rechnung gemachte, mit der Wirklichkeit nicht vollständig übereinstimmende Annahme verursacht wird. Damit dürfte also vorläufig das Lambert'sche Licht-Emanationsgesetz als empirisch nachgewiesen zu betrachten sein.

In Tabelle VII sind noch die Mengen des vom drehbaren glühenden Platinstreifen unter

Fig. 5.



verschiedenen Azimuthen ausgesandten polarisirten Lichtes angegeben, soweit es als solches durch die matte Glasplatte hindurchgegangen ist, und zwar in Prozenten ausgedrückt.

Tabelle VII.

Emanationswinkel	40°	50°	60°	70°	80°
$\frac{P'}{J_2 + P}$ in % .	13	29	33	71	74

Die wirklichen Mengen des vom Platinstreifen ausgestrahlten polarisirten Lichtes sind noch gröfser. Auffallend hoch sind die Zahlen, welche sich für die geneigteren Azimuthe ergeben; es wäre in der That interessant, in

dieser Hinsicht die Lichtausstrahlung von glühenden glatten Oberflächen genauer zu untersuchen.

II. Relative Messungen der Lichtintensitäten in den hauptsächlichsten Glühlampen.

Mit Hülfe des oben beschriebenen Wild'schen Photometers in seiner vereinfachten Form bestimmte ich die relativen Lichtintensitäten in den gebräuchlichsten Glühlampen, um daraus eine Vorstellung über ihre Intensitätsfläche zu gewinnen. Schon eine oberflächliche Ueberlegung zeigt, dafs in Folge der einem jeden System eigenthümlichen Gestalt des Kohlenfadens die Lichtintensität in verschiedenen Richtungen verschieden sein mufs, dafs es also nicht gleichgültig sein kann, in welcher Stellung die Lampen aufgehängt werden müssen, wenn sie in gegebener Anzahl an einer bestimmten Stelle im Raume ein Maximum der Helligkeit liefern sollen. Merkwürdig ist es, dafs diese Thatsache bis jetzt so wenig Beachtung gefunden hat; selbst in gröfseren elektrischen Beleuchtungsanlagen der letzteren Zeit ist auf die günstigste Stellung der Lampen gar keine Rücksicht genommen; vielmehr sind sie so aufgehängt worden, wie es gerade durch die zufällige Konstruktion der Lichtträger bedingt wurde.

§ 9. Uebersicht über die vorhandenen Messungen an Glühlampen.

Die ersten Messungen an einer Glühlampe unter verschiedenen Richtungen in einer Horizontalebene wurden von Morton [1]) in Washington unternommen, und zwar an einer 16 Kerzen-Edison-Lampe älterer Konstruktion (System 1880).

[1]) Annales de chimie et physique, T. 20, p. 275.

Er fand folgende Zahlen:

Tabelle VIII.

0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1000	1041	1079	1164	1264	1441	1607	2451	2985	3077

Anmerkung. Die in dieser, wie in der folgenden Tabelle angegebenen Messungen, welche in den Originalabhandlungen in Normalkerzen ausgedrückt waren, sind so umgerechnet worden, dafs die Intensität der in der Fadenebene ausgesandten Lichtstrahlen als Einheit genommen und gleich 1000 gesetzt wurde. Die Azimuthe zählen von der Fadenebene aus.

Darauf stellte John Howell [1]) ebenfalls an einer 16 Kerzen-Edison-Lampe, aber neuerer Konstruktion (System 1882) Beobachtungen an und erhielt folgende Zahlen (Fig. 6, Kurve 3):

Tabelle IX.

0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1000	1127	1190	1211	1225	1225	1183	1092	958	908

Die grofsen Unterschiede, welche diese beiden Messungen zeigen, sind nicht, wie Herr Dr. Krüfs [2]) meint, auf den Umstand zurückzuführen, dafs die Vertheilung der Helligkeit in verschiedenen Richtungen um eine vertikale Axe individuell für jedes Exemplar einer Glühlampe sei, sondern erklären sich einfach durch die Ueberlegung, dafs die von Morton gemessene Lampe älterer Konstruktion war, in welcher der Kohlenfaden platt in der Fadenebene ist, während in der von J. Howell benutzten Lampe, wie überhaupt in allen Edison-Lampen neuerer Konstruktion, der Kohlenfaden platt ist senkrecht zur Fadenebene. Wäh-

[1]) Van Nostrams Engeneering Magazine (New-York), 1882, p. 57.

[2]) Bericht der Elektrizitäts-Ausstellung zu München, II. Theil, Seite 58.

rend also Morton Zahlen erhalten mufste, welche von der Fadenebene an allmählich zunehmen bis zur dazu senkrechten Richtung, erhält Howell Beobachtungen, welche von den von uns an der Edison-B-Lampe gewonnenen nicht viel verschieden sind. So bedeutende Unterschiede, wie sie zwischen den Morton'schen und Howell'schen Zahlen bestehen, können nicht von den bei der Edison-Lampe vorkommenden Verschiedenheiten in den Dimensionen des Kohlenfadens herrühren; denn diese weichen, wie mir Messungen an einer gröfseren Anzahl zerschlagener Lampen gezeigt haben, in verschiedenen Exemplaren desselben Systems nur sehr wenig von einander ab; — eine Thatsache, welche ich auch durch photometrische Messungen an verschiedenen Edison-B-Lampen bestätigt gefunden habe.

Die umfangreichsten Messungen an Glühlampen verschiedener Systeme sind auf der internationalen Elektrizitäts-Ausstellung in München von einer Kommission ausgeführt worden, deren erster Vorsitzender Herr Professor Voit war. Nach dem Arbeitsplane [1]) dieser Kommission sollten die Glühlampen nur bei 0°, 45° und 90° von der Fadenebene um eine Vertikalaxe gemessen werden. Da jedoch eine so geringe Anzahl von Messungen nicht einmal genügt hätte, um ein Bild von der Intensitätsvertheilung in einer Horizontalebene zu liefern, so unternahm ich meine Messungen in der Absicht, in einer bedeutend gröfseren Anzahl von Richtungen zu beobachten und meinen Bestimmungen mit Hülfe des vereinfachten Wild'schen Photometers eine gröfsere Genauigkeit zu geben,

[1]) Entwurf eines Arbeitsplanes für die photometrischen Messungen der IV. Abtheilung der Prüfungskommission von Dr. E. Voit und Dr. Krüfs.

als es der genannten Kommission mit dem modifizirten Bunsen'schen Photometer und obendrein in der kurzen ihr zur Verfügung stehenden Zeit möglich sein konnte. Wenn nun auch die Münchener Messungen, wie aus dem Mitte vorigen Jahres über dieselben veröffentlichten Berichte hervorgeht, in nicht geringem Maſse vervollständigt worden sind, so dürften dennoch meine Beobachtungen, welche damals bereits fast vollständig beendet waren, immerhin von gewissem Interesse sein.

§ 10. Versuchsanordnung.

Zur Messung gelangten:

1. die Edison-B-Lampe,
2. die Maxim-Lampe,
3. die Müller-Lampe,
4. die Swan-Lampe.

Zwei Lampen desselben Systems wurden zu beiden Seiten des Photometers angebracht, mit den Oeffnungen des Prismenapparates in einer Geraden, die eine fest, die andere an einem Theilkreise drehbar, so daſs der Positionswinkel mit ziemlicher Genauigkeit abgelesen werden konnte. Die Lampen wurden neben einander in einen Zweigstrom gebracht, dessen Intensität mit Hülfe eines Rheostaten variirt, und, wenn einmal bestimmt, mittels eines Galvanometers auf Konstanz kontrolirt werden konnte. Eine wie groſse Stromstärke zum Glühen der Lampen benutzt wurde, richtete sich lediglich nach der Helligkeit der Lampen, welche erforderlich war, um in der durch die Dimensionen der Dunkelkammer gegebenen gröſstmöglichen Entfernung der Lampen vom Photometer das Gesichtsfeld behufs guter Einstellung geeignet zu beleuchten. Nach Beendigung der Messungen wurde die Stromintensität mit Hülfe einer gewöhnlichen

Tangentenbussole für die verschiedenen Lampen bestimmt. Die Beobachtungen wurden von 10° zu 10° angestellt, in verschiedenen Ebenen, welche später bei Besprechung der einzelnen Lampen näher bestimmt werden sollen. Ich will noch bemerken, dafs als Normalstellung der Lampen, auf die sich die in den folgenden Beschreibungen gewählten Bezeichnungen beziehen, die gewöhnlichste Stellung genommen wurde, in welcher der Kohlenfaden nach unten, der Sockel nach oben gerichtet ist; ich mache deshalb auf diesen an und für sich unwesentlichen Umstand besonders aufmerksam, weil in den Berichten der Münchener Ausstellung, die zum Vergleiche fortwährend herangezogen werden, die umgekehrte Stellung der Lampen als normal betrachtet wird.

Es war von Wichtigkeit, den Strom auf konstanter Intensität zu erhalten, da, wie sich im Verlaufe der Untersuchung herausstellte, die Lichtintensitätsvertheilung mit der Stromstärke, wenn auch nur wenig, variirte. Ich habe mich von dieser Thatsache nur überzeugen können; vollständige Messungen an einer und derselben Glühlampe bei verschiedenen Stromintensitäten habe ich nicht ausgeführt.

§ 11. Resultate der Messungen.

Die zur Messung gelangten Glühlampen zerfallen in zwei Abtheilungen:

a) in solche Lampen, deren Kohlenfaden in einer Ebene liegt und eine einfache Gestalt hat (Edison und Maxim);

b) in solche Lampen, deren Kohlenfaden nicht eine einfache Gestalt hat, sondern im Allgemeinen eine doppelt gekrümmte Kurve bildet (Müller und Swan).

a) Edison- und Maxim-Lampe.

Die der ersteren Abtheilung angehörigen Glühlampen zeichnen sich dadurch aus, dafs ihre Lichtkurven im Allgemeinen stetig gekrümmt sind, und dafs letztere sich in der Horizontalebene auch durch Rechnung herleiten lassen. Um eine Vorstellung über ihre Intensitätsfläche zu gewinnen, wurden sie in drei zu einander senkrechten Koordinatenebenen gemessen, von denen die eine horizontal ungefähr durch den Schwerpunkt des Fadens, die anderen beiden vertikal durch die Ebene des Fadens und senkrecht dazu durch die Mittellinie desselben gelegt wurden. Da die beiden vertikalen Ebenen für die Lampen Symmetrieebenen sind, so wurde in der Horizontalebene aus den in den vier Quadranten gemessenen Zahlen das arithmetische Mittel genommen; ebenfalls in den beiden vertikalen Ebenen aus den zu beiden Seiten der bezüglichen Symmetrieebene gemessenen Zahlen. Dasselbe wurde mit den zum Vergleiche herbeigezogenen Voit'schen Messungen vorgenommen, soweit sie in genügender Anzahl vorhanden waren. Als Nullrichtung wurde für die Messungen sowohl in der Horizontalebene, als in der Fadenebene deren gemeinsame Durchschnittslinie genommen, für die Messungen in der zur Fadenebene senkrecht gelegten Ebene deren Durchschnittslinie mit der Horizontalebene.

α) Edison-B-Lampe.

1. Horizontalebene (Tab. Xa).

Wie in Fig. 6 Kurve 1 zeigt, ist ein Maximum der Intensität ungefähr bei 20° vorhanden. Die Kurve stimmt mit der von Herrn Voit gemessenen Kurve 2 von 90° bis 10° fast vollkommen überein, von 10° bis 0° jedoch gehen sie auseinander. Indessen halte ich die meinige

α) Edison-B-Lampe. (Stromintensität: 0,46 Ampère.)

1. Horizontalebene.

Tabelle Xa (Fig. 6).

	0°	10°	20°	22½°	30°	40°	45°	50°	60°	67½°	70°	80°	90°
Möller	1000	1150	1177	—	1175	1170	—	1148	1096	—	1034	943	886
Voit	1000	—	—	999	—	—	966	—	—	823	—	—	706

Anmerkung. Die im Berichte der Münchener Ausstellung von Herrn Voit der Kurve hinzugefügten Zahlen weichen von den entsprechenden in der Tabelle ab; die hier zitirten Zahlen sind der Tabelle entnommen.

2. Ebene senkrecht zur Fadenebene.

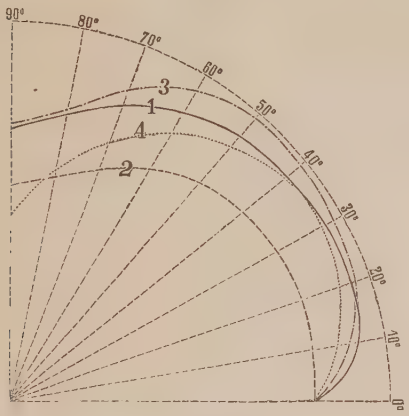
Tabelle Xb (Fig. 7).

	320°	330°	340°	350°	0°	10°	20°	22½°	30°	40°	45°	50°	60°	67½°	70°	80°	90°
Möller . . .	881	937	990	1033	1000	1010	962	—	883	800	—	714	652	—	614	408	310
Voit	—	—	—	—	1000	—	—	868	—	—	765	--	—	670	—	—	300*

Anmerkung. Auch hier stimmen die Voit'schen Zahlen in der Tabelle nicht überein mit den der entsprechenden Kurve beigefügten Zahlen. In Tabelle Xb sind die ersteren zum Vergleiche herbeigezogen. Die letzte in der Voit'schen Tabelle stehende Zahl (*) enthält offenbar einen Setzfehler, welcher in Tabelle Xb mit Zuhülfenahme der Voit'schen Kurve verbessert worden ist.

für die richtigere, weil bei 0° der eine vertikale Kohlenstab von dem anderen zum Theil verdeckt wird und in Folge dessen die gemessene Lichtintensität hier rasch sinken mufs. In Fig. 6 ist noch die von Howell an einer Edison-A-Lampe gefundene Kurve 3 hinzugezeichnet; sie ist mit den anderen nicht unmittelbar vergleichbar, zeigt jedoch, dafs ebenso wie die Gestalt des Fadens in der A-Lampe derjenigen

Fig. 6.



in der B-Lampe sehr ähnlich ist, so auch die entsprechenden Lichtkurven Aehnlichkeiten besitzen. Kurve 4 ist die theoretisch hergeleitete Kurve, welche später besprochen werden soll.

2. Ebene senkrecht zur Fadenebene (Tab. X b).

Die Intensität (Fig. 7 Kurve 1) nimmt von der Horizontalen aus nach oben hin Anfangs zu, um bei 10° ein leichtes Maximum zu erreichen, dann allmählich ab; nach unten hin nimmt sie im Allgemeinen allmählich ab bis 70°, von wo aus sie plötzlich auf einen dreimal so geringen Werth sinkt wie in der Horizontalen. Hier

3. Fadenebene.

Tabelle Xc (Fig. 8).

320°	330°	340°	350°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
874	900	930	1006	1000	1097	1113	930	769	691	553	413	334	246

β) Maxim-Lampe. (Stromintensität: 0,98 Ampère.)

1. Horizontalebene.

Tabelle XIa (Fig. 9).

	0°	10°	20°	22½°	30°	40°	45°	50°	60°	67½°	70°	80°	90°
Möller	1000	1759	2294	—	2888	3382	—	3742	4045	—	4202	4218	4249
Voit (Lampe No. 1) . . .	1000	—	—	1470	—	—	2013	—	—	2323	—	—	2493

zeigen sich zwischen der von Herrn Voit (Kurve 2) und mir gefundenen Kurve gröfsere

Fig. 7.

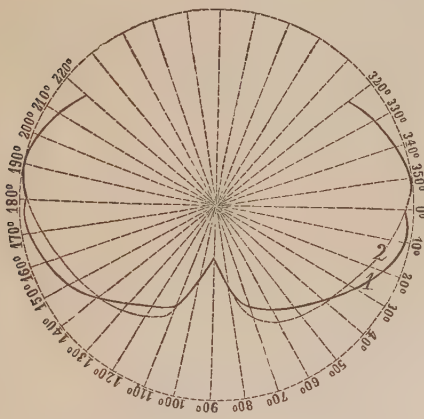
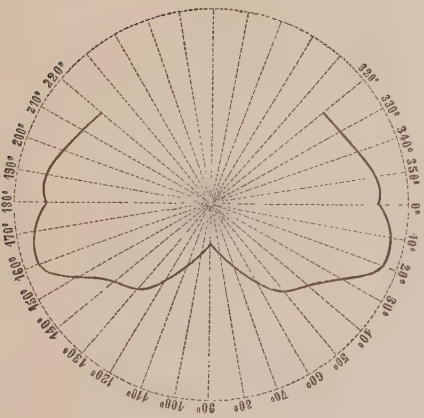


Fig. 8.



Abweichungen; indessen ist der allgemeine Verlauf beider Kurven so ziemlich derselbe.

3. Fadenebene (Tab. X c).

Die Intensität, Fig. 8, nimmt von der Horizontalen nach oben hin im Allgemeinen allmählich ab; dagegen wächst sie nach unten hin bis etwa 20°, von wo sie rasch abnimmt, um bei 90° senkrecht nach unten einen viermal so geringen Werth anzunehmen wie in der Horizontalen.

Schlufsfolgerungen für die Edison-B-Lampe.

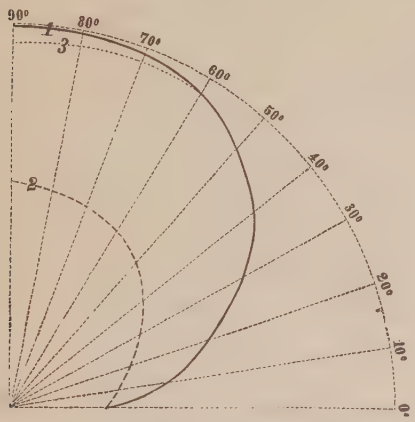
Mit Hülfe dieser drei Durchschnittskurven der Intensitätsfläche der Edison-B-Lampe mit drei zu einander senkrechten Koordinatenebenen kann man sich nun eine ungefähre Vorstellung von der Intensitätsfläche verschaffen. Es würde keinen Werth haben, wenn ich versuchen wollte, diese Fläche näher zu diskutiren; indessen möchte ich doch bemerken, dafs eine relativ grofse Lichtintensität, wenn auch nicht behauptet werden kann, die gröfste, in einer Richtung ausgesandt wird, die folgendermafsen bestimmt ist: Man lege durch die Vertikalaxe der Lampe eine Ebene, welche mit der Fadenebene 20° bildet, und ziehe in derselben vom Schwerpunkte des Kohlenfadens aus nach unten eine Linie, welche mit der Horizontalen gleichfalls einen Winkel von 20° einschliefst; in dieser Richtung ist dann ein Maximum der Intensität vorhanden. Hieraus würde sich die praktische Regel ergeben, dafs es vortheilhaft ist, um eine bestimmte Stelle im Raume mit einer Edison-B-Lampe in gegebener Entfernung mit relativ grofsem Effekte zu beleuchten, diese so aufzuhängen, dafs die zu beleuchtende Stelle von den in der soeben definirten Richtung ausgesandten Lichtstrahlen getroffen wird.

β) Maxim-Lampe.

1. Horizontalebene (Tab. XI a).

In der Horizontalebene ist die Lichtintensität (Fig. 9, Kurve 1) so vertheilt, dafs sie von 0° an Anfangs sehr rasch wächst, so dafs sie schon bei 10° fast den doppelten Werth erreicht, dann aber in dem Mafse, wie sie sich von der Nullrichtung entfernt, immer langsamer zunimmt, bis sie bei 90° einen Maximalwerth erlangt, der den für die Nullrichtung gemessenen um mehr als das Vierfache übertrifft, — eine Vertheilung,

Fig. 9.



welche sich in Hinblick auf die Gestalt des Kohlenfadens von vorn herein erwarten liefs. Die von Herrn Voit gefundene Kurve 2 stimmt mit der meinigen von 90° bis 30° so ziemlich überein, von 30° bis 0° nimmt sie weniger rasch ab; indessen halte ich auch hier die meinige für die richtigere, und zwar aus demselben Grunde wie bei der Edison-Lampe, weil nämlich der dem Photometer zunächst gelegene vertikale Kohlenstab die hinter ihm gelegenen

2. Ebene senkrecht zur Fadenebene.

Tabelle XIb (Fig. 10).

	300°	310°	320°	330°	340°	350°
Möller	519	696	783	878	923	959

	0°	10°	20°	22½°	30°	40°	45°	50°	60°	67½°	70°	80°	90°
Möller	1000	1022	959	—	879	752	—	620	493	—	352	220	124
Voit	1000	—	—	1032	—	—	564	—	—	458	—	—	164
Kosinuszahlen	1000	985	940	—	866	766	—	643	500	—	342	174	0

3. Fadenebene.

Tabelle XIc (Fig. 11).

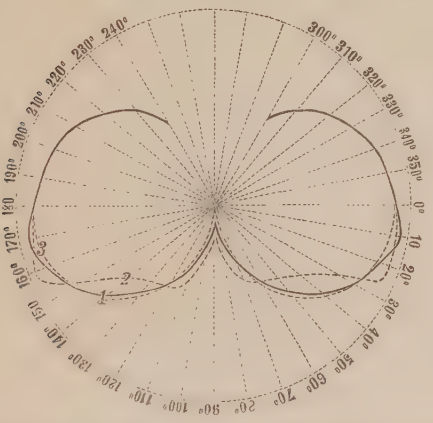
300°	310°	320°	330°	340°	350°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
623	750	821	893	918	995	1000	1056	1032	1008	965	862	736	641	586	678

Partien theilweise verdeckt. Kurve 3 stellt die theoretisch hergeleitete Kurve vor, welche später besprochen werden soll.

2. Ebene senkrecht zur Fadenebene (Tab. XI b).

Die Intensität (Fig. 10 Kurve 1) nimmt von der Horizontalen nach oben hin Anfangs allmählich, dann etwas schneller ab; nach unten hin dagegen erreicht sie bei 10° ein leichtes Maximum, um dann rasch abzunehmen und bei 90° senkrecht nach unten auf einen achtmal so geringen Werth zu sinken, wie in der Horizontalen. In dieser

Fig. 10.

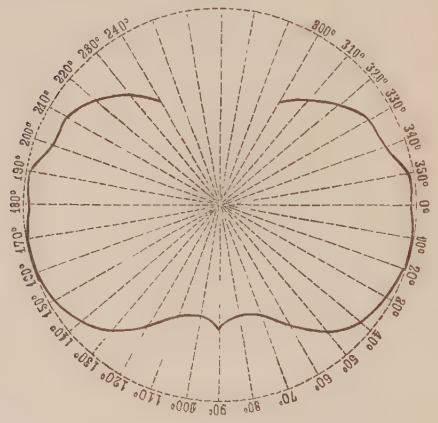


senkrecht zur Fadenebene gelegten Ebene weicht die von Herrn Voit gemessene Kurve 2 von der meinigen bedeutend ab; überlegt man aber, dafs, wenn überhaupt bei Glühlampen, so in erster Linie bei der Maxim-Lampe senkrecht zur Fadenebene das Emanationsgesetz zum Vorschein kommen mufs, so wird man wegen der überaus befriedigenden Uebereinstimmung zwischen der von mir gemessenen und der die Kosinuszahlen darstellenden Kurve 3 der meinigen den Vorzug geben.

3. Fadenebene (Tab. XIc).

Die Intensität, Fig. 11, nimmt von der Horizontalen aus nach oben hin im Allgemeinen allmählich ab, nach unten erreicht sie bei 10° ein leichtes Maximum und sinkt dann ganz allmählich bis 80°, um dann bis 90° etwas zu steigen. Hier scheint merkwürdigerweise die Intensität bei 90° etwas gröfser zu sein als in der Umgebung, woraus folgen würde, dafs, da bei 90° durch die Verdickung der Glashülle eine bedeutende Absorption stattfindet, in der

Fig. 11.



Nähe von 80° eine relativ starke Abnahme der Intensität stattfinden mufs. Indessen will ich nicht verhehlen, dafs die in dieser Ebene gefundenen Zahlen mit weit gröfseren Unsicherheiten behaftet sind als die übrigen; erwägt man nämlich, dafs, wie Fig. 9, Kurve 1, zeigt, schon bei 10° von der Fadenebene die Intensität fast doppelt so grofs ist wie in derselben, so erkennt man leicht, dafs schon ein geringer Fehler in der Einstellung der Fadenebene zum Photometer einen relativ grofsen Fehler in der Messung nach sich ziehen konnte.

Schlufsfolgerungen für die Maxim-Lampe.

Auch von der Intensitätsfläche der Maxim-Lampe kann man sich mit Hülfe der drei soeben beschriebenen Kurven eine ungefähre Vorstellung verschaffen. Mit ziemlicher Sicherheit läfst sich hier behaupten, dafs die gröfste Lichtintensität in einer Richtung stattfindet, welche in der Ebene senkrecht zur Fadenebene von der Horizontalen 10° nach unten liegt. Hieraus würde sich folgende praktische Regel ergeben: Um mit einer Maxim-Lampe einen bestimmten Punkt im Raume in gegebener Entfernung möglichst intensiv zu beleuchten, gebe man der Lampe eine solche Stellung, dafs die Verbindungslinie des zu beleuchtenden Punktes mit dem Schwerpunkte des Kohlenfadens in der zur Fadenebene senkrechten Ebene liegt und mit der Horizontalen einen Winkel von 10° nach unten einschliefst.

b) Müller- und Swan-Lampe.

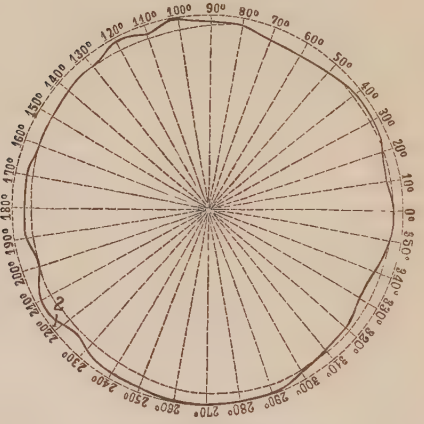
Die der letzteren Abtheilung angehörigen Lampen, welche sich dadurch charakterisiren, dafs ihr Kohlenfaden keine einfache, in einer Ebene liegende Gestalt hat, sondern nach allen Richtungen hin ziemlich gleichmäfsig gewunden ist, haben das mit einander gemein, dafs ihre Lichtkurven, wenigstens in der Horizontalebene, nicht stetig gekrümmt sind, sondern um eine bestimmte Mittellinie hin- und herschwanken, welche, wie sich schon von vorn herein übersehen läfst, dem Kreise sehr nahe kommt. Da ihr Kohlenfaden unregelmäfsig gewunden ist, so hat ein jedes Individuum seine besondere Lichtkurve. Darum schien es nicht nothwendig, die Intensitätsvertheilung in mehr als zwei Ebenen zu bestimmen, von denen als die eine die durch den Schwerpunkt des Kohlenfadens gelegte

Horizontalebene gewählt wurde, als die andere eine Vertikalebene, welche zur Gestalt des Fadens in einer bestimmten Beziehung steht.

α) Müller-Lampe.

1. Horizontalebene (Tab. XII a).

Fig. 12.



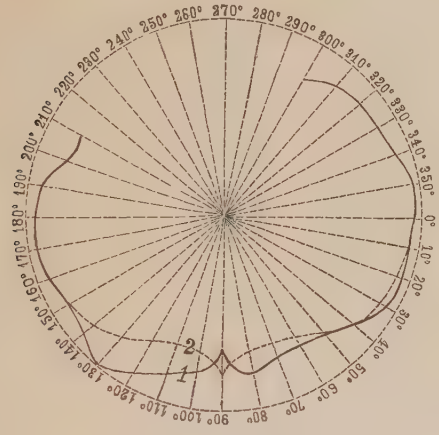
Sowohl die von mir (Fig. 12 Kurve 1) als die von Herrn Voit (Kurve 2) gefundene Kurve nähert sich dem Kreise.

2. Verticalebene, welche durch die beiden Ansatzstücke des Kohlenfadens geht (Tab. XII b).

In dieser Ebene weicht die Kurve 1 (Fig. 13) mehr vom Kreise ab als in der Horizontalebene. Ein Minimum der Intensität zeigt sich bei 90° senkrecht nach unten. Das Maximum bei 130°, welches durch wiederholte Messungen konstatirt wurde, scheint einer dem Kohlenfaden der gemessenen Lampe anhaftenden Unregelmäfsigkeit zu entsprechen. Es ist nicht zu verwundern, dafs meine Kurve mit der von Herrn Voit gemessenen (2) nicht gut übereinstimmt, da die

Lichtvertheilung bei der Müller-Lampe für jedes Exemplar individuell ist.

Fig. 13.

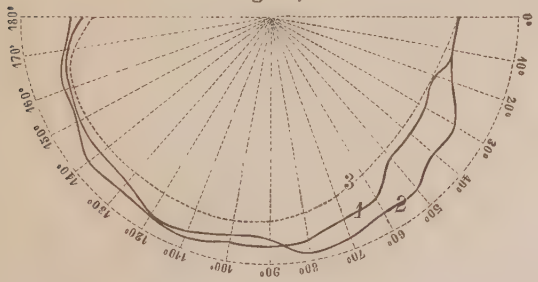


β) Swan-Lampe.

1. Horizontalebene (Tab. XIIIa).

In der Horizontalebene konnte nur in einem Halbkreise gemessen werden, da auf der einen

Fig. 14.



Seite der Lampe der Fabrikstempel eingeätzt war; es wurden daher in dieser Ebene zwei Lampen gemessen. Meine beiden Kurven (1 und 2 in Fig. 14) sowie die von Herrn Voit beobachtete

α) Müller-Lampe. (Stromintensität: 0,47 Ampère.)

1. Horizontalebene.

Tabelle XIIa (Fig. 12).

	0°	10°	20°	22½°	30°	40°	45°	50°	60°	67½°	70°	80°
Möller	1000	993	1006	—	1016	1018	—	996	1000	—	1001	1041
Voit (mittl. Lampe No. 1)	1000	—	—	1014	—	—	1012	—	—	995	—	—

	90°	100°	110°	112½°	120°	130°	135°	140°	150°	157½°	160°	170°
Möller	1056	1109	1020	—	1056	1008	—	996	982	—	952	987
Voit (mittl. Lampe No. 1)	1015	—	—	1015	—	—	1004	—	—	983	—	—

	180°	190°	200°	202½°	210°	220°	225°	230°	240°	247½°	250°	260°
Möller	963	964	945	—	981	989	—	986	1031	—	1036	1065
Voit (mittl. Lampe No. 1)	948	—	—	950	—	—	944	—	—	967	—	—

	270°	280°	290°	292½°	300°	310°	315°	320°	330°	337½°	340°	350°
Möller	1065	1073	1045	—	1023	992	—	986	945	—	965	959
Voit (mittl. Lampe No. 1)	1006	—	—	1022	—	—	1026	—	—	999	—	—

2. Vertikalebene, welche durch die beiden Ansatzstücke des Kohlenfadens geht.

Tabelle XIIb (Fig. 13).

	300°	310°	320°	330°	340°	350°	0°	10°	20°	22½°	30°	40°	45°	50°	60°
Möller	814	901	923	928	945	994	1000	983	975	—	968	890	—	834	794
Voit	—	—	—	—	—	—	1000	—	—	966	—	—	863	—	—

67½°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	190°	200°	210°
—	788	838	716	847	882	949	1032	964	947	963	987	982	963	877	864
718	—	—	822	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

β) Swan-Lampe. (Stromintensität: 0,73 Ampère.)

1. Horizontalebene.

Tabelle XIIIa (Fig. 14).

		0°	10°	20°	22½°	30°	40°	45°	50°	60°	67½°	70°	80°	90°
Möller	Lampe I	1000	990	935	—	928	959	—	974	1095	—	1129	1185	1202
	Lampe II	1000	986	1020	—	1123	1127	—	1187	1187	—	1221	1265	1166
Voit (Lampe ohne Nummer)		1000	—	—	919	—	—	904	—	—	995	—	—	1080

		100°	110°	112½°	120°	130°	135°	140°	150°	157½°	160°	170°	180°
Möller	Lampe I	1200	1248	—	1223	1179	—	1210	1151	—	1144	1081	985
	Lampe II	1174	1220	—	1236	1154	—	1130	1145	—	1120	1053	930
Voit (Lampe ohne Nummer)		—	—	1093	—	—	1110	—	—	1118	—	—	1040

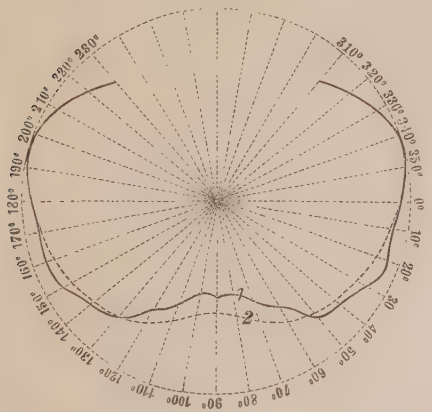
weichen nicht bedeutend vom Kreise ab; indessen scheint der Mangel an Symmetrie, welcher an allen drei Kurven nicht zu verleugnen ist und der unsymmetrischen Krümmung des Kohlenfadens entspricht, für die Swan-Lampe charakteristisch zu sein.

2. Vertikalebene senkrecht zur kreisförmigen Schleife.

Tabelle XIIIb (Fig. 15).

	310°	320°	330°	340°	350°	0°	10°	20°	22½°
Möller	849	929	1000	1045	1040	1000	983	987	—
Voit . .	—	—	—	—	—	1000	—	—	927
	30°	40°	45°	50°	60°	67½°	70°	80°	90°
Möller	950	890	—	840	687	—	593	516	541
Voit . .	—	—	842	—	—	722	—	—	642

Fig. 15.



Die Intensität (Fig. 15 Kurve 1) steigt von der Horizontalebene aus nach oben, erreicht bei 20°

über derselben ein Maximum und fällt dann allmählich; nach unten nimmt sie bis 50° allmählich ab, fällt dann rascher und erlangt bei 80° ihr stärkstes Minimum, um bis 90° wieder etwas zu steigen und einen Werth anzunehmen, der ungefähr halb so grofs ist wie in der Horizontalebene. Hieraus geht hervor, da bei 90° senkrecht nach unten eine bedeutende Absorption durch die Verdickung in der Glashülle eintritt, dafs bei 80° ein relativ starkes Minimum stattfindet. Die von Herrn Voit gemessene Kurve 2 stimmt von 0° bis 50° mit der meinigen recht gut überein und weicht dann von 50° bis 90° bedeutend ab, — eine Abweichung, welche aus der Individualität der Swan-Lampe zu erklären ist.

Zufällig zeigte der Kohlenfaden der von mir gemessenen Swan-Lampe schon äufserlich eine auffallende Symmetrie nach der Ebene, welche durch die beiden Ansatzstücke desselben festgelegt ist, — eine Symmetrie, welche sich durch die Beobachtungen in der dazu senkrechten Ebene vorzüglich bestätigte. Diese zufällige Thatsache veranlafste mich, die gemessene Lampe als Normallampe zu betrachten und noch in der zur ersteren senkrechten Ebene Messungen anzustellen. Auch in dieser machte sich, wie zu erwarten, eine, wenn auch nicht so vollkommene Symmetrie bemerkbar.

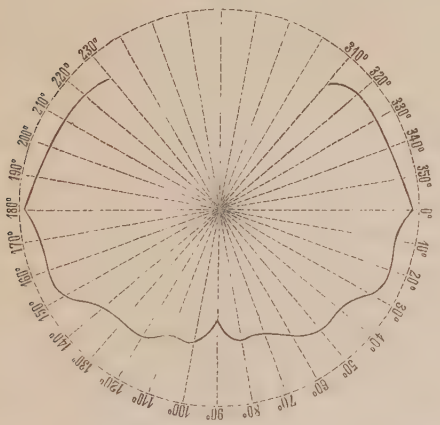
3. Vertikalebene, welche durch die beiden Ansatzstücke des Kohlenfadens geht und zur vorigen Vertikalebene senkrecht stcht (Tab. XIIIc).

Die Intensität, Fig. 16, nimmt von der Horizontalen aus nach oben hin allmählich ab, nach unten etwas rascher mit einigen Schwankungen, und erreicht bei 90° senkrecht nach unten einen Werth, der ungefähr halb so grofs ist wie in der Horizontalen.

Schlufsfolgerungen für die Müller- und Swan-Lampe.

Ein Ueberblick über die beiden an der Müller-Lampe, sowie über die drei an der Swan-Lampe gemessenen Kurven zeigt, dafs sich die Intensitätsfläche beider Lampen, soweit aus Messungen an einzelnen Exemplaren geschlossen werden kann, der Oberfläche eines Rotationsellipsoides nähert, dessen Rotationsaxe mit der Vertikalaxe

Fig. 16.



der Lampen zusammenfällt und für die Müller-Lampe ungefähr $\frac{3}{4}$ mal, für die Swan-Lampe ungefähr $\frac{1}{2}$ mal so grofs ist wie jede der beiden anderen Axen. Hieraus folgt, dafs in der Müller- und Swan-Lampe die gröfste Intensität in der durch den Schwerpunkt des Fadens gelegten Horizontalebene stattfindet.

§ 12. Theorie der Glühlampen.

Mit Hülfe des Lambert'schen Kosinusgesetzes läfst sich die Lichtvertheilung ohne wesentliche

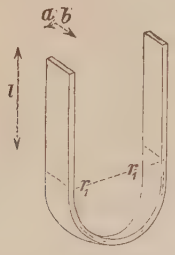
3. Vertikalebene, welche durch die beiden Ansatzstücke des Kohlenfadens geht und zur vorigen Vertikalebene senkrecht steht.

Tabelle XIIIc (Fig. 16).

310°	320°	330°	340°	350°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
873	919	928	938	962	1000	938	950	919	831	830	782	714	706	584

Schwierigkeiten nur für solche Glühlampen berechnen, deren Kohlenfaden eine einfache, in einer Ebene liegende Gestalt hat, und zwar für solche auch nur in einer Horizontalebene. Wir beschränken daher unsere theoretischen Betrachtungen auf die Edison- und Maxim-Lampe, und zwar nur in einer Horizontalebene.

Fig. 17.



a) Edison-Lampe.

Der Kohlenfaden der Edison-Lampe besteht aus drei Theilen, Fig. 17: zwei gleich langen vertikalen, prismatischen Stäben mit rechteckigem Querschnitt und einem diese beiden verbindenden bogenförmigen Theile. Wir wollen nun annehmen, was in der Wirklichkeit angenähert der Fall ist, dafs der Bogen ein Kreisbogen ist, und bezeichnen die Länge der beiden vertikalen Stäbe mit l, die Seiten ihres Querschnittes mit a und b, und mit r_1 den Radius derjenigen Fläche, welche in der Mitte zwischen der inneren und äufseren Fläche des Bogens liegt. Dafs von diesen beiden Flächen in jeder Position der Lampe nur gewisse Theile Licht ins Photometer senden, wird dadurch genügend berücksichtigt, dafs ihre Summe stets durch die ganze mittlere Fläche des Bogens ersetzt wird.

Führen wir dann diese Gröfsen in die Lambert'sche Formel (vgl. § 6) ein und machen hier dieselben vereinfachenden Annahmen wie oben, so ergiebt sich folgende Gleichung:

$$J = \frac{i}{r^2}(2\,l + r_1\,\pi)\,[a\,.\,\sin x + b\,.\,\cos x];$$

setzen wir: $\frac{i}{r^2}(2\,l + r_1\,\pi) = C$, so lautet die definitive Formel für die Lichtvertheilung um die Edison-Lampe:

$$J = C\,[a\,.\,\sin x + b\,.\,\cos x].$$

Diese Formel zeigt, dafs bei den von uns gemachten Annahmen die Lichtvertheilung unabhängig ist von der Länge des Bogens und der vertikalen Stäbe, allein abhängig von den Seiten ihres Querschnittes. Die Lichtvertheilung ist also dieselbe, wie sie um einen vertikalen prismatischen Stab mit rechteckigem Querschnitte von den Seiten a und b stattfinden würde.

b) Maxim-Lampe.

Da der Kohlenfaden der Maxim-Lampe aus vier vertikalen prismatischen Stäben mit rechteckigem Querschnitt und drei fast kreisförmigen Bögen besteht, so ist auch hier die Lichtvertheilung gerade ebenso wie um einen einzigen Stab mit rechteckigem Querschnitte, d. h. ihre Gleichung lautet analog wie bei der Edison-Lampe:

$$J_1 = C_1\,[a_1\,.\,\sin x + b_1\,.\,\cos x].$$

Den Lichtkurven der Edison- und Maxim-Lampe liegen also Gleichungen von derselben Form zu Grunde; sie unterscheiden sich nur durch die Verhältnisse $\frac{a}{b}$ und $\frac{a_1}{b_1}$. Je nachdem $\frac{a}{b}$ einen Werth annimmt, etwas kleiner

als 1, wie bei der Edison-Lampe, oder, wie bei der Maxim-Lampe, bedeutend gröfser als 1, nähert sich die Kurve dem Kreise oder zieht sich nach 90° hin in die Länge (vgl. Fig. 6, Kurve 1, und Fig. 9, Kurve 1).

§ 13. Vergleich zwischen Theorie und Beobachtung.

a) Edison-Lampe.

Da wir Gelegenheit hatten, an verschiedenen Edison-B-Lampen die Dimensionen a und b zu messen, so können wir für jedes Azimuth der Horizontalebene, unter welchem Beobachtungen angestellt wurden, auch die entsprechenden Zahlen berechnen, d. h. die theoretische Intensitätskurve konstruiren. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dafs das, was im Photometer gemessen wurde, nicht die Intensität des vom glühenden Kohlenfaden ausgesandten Lichtes war, sondern die Intensität des Lichtes, nachdem es einerseits um eine in der Glashülle absorbirte Lichtmenge, andererseits durch eine an der Glashülle reflektirte Lichtmenge geändert worden war. Die absorbirte Lichtmenge kann für alle Messungen in der Horizontalebene als gleich angenommen werden; dagegen änderte sich die Menge des an der Glashülle reflektirten Lichtes mit der Position der Lampe. Letztgenannte Lichtmenge konnte indessen weder durch Messung noch durch Rechnung bestimmt werden und hat daher eine Abweichung zwischen Theorie und Beobachtung zur Folge. Das Mittel aus mehreren Messungen ergab für das Verhältnifs $\frac{a}{b}$, das hier allein in Betracht

kommt, die Zahl 0,61. Setzt man diese Zahl ein in die Gleichung:

$$J = C' \left[\frac{a}{b} \cdot \sin x + \cos x \right],$$

worin $C' = C \cdot b$, so erhält man für die verschiedenen Azimuthe Intensitätswerthe, welche mit den beobachteten in Tabelle XIV zusammengestellt sind.

Tabelle XIV.

	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Theorie	1000	1091	1148	1170	1157	1109	1027	914	773	609
Beobachtung	1000	1150	1177	1175	1170	1148	1096	1034	943	886

Die dazu gehörige Kurve ist in Fig. 6, Kurve 4, dargestellt. Sie stimmt mit der empirisch gefundenen (Kurve 1) zwischen 0° und 40° ziemlich gut überein; von hier an weicht sie immer mehr von jener ab. Diese Abweichungen sind wohl auf die unserer Theorie zu Grunde gelegten Annahmen zurückzuführen, welche in der Wirklichkeit nicht vollständig erfüllt sind; denn, während z. B. unsere Theorie verlangt, dafs bei 90° nur die schmale Seite des Fadens Licht ins Photometer sendet, kommt in Wirklichkeit auch noch die Projektion der inneren breiten Seite in Betracht, wodurch bewirkt wird, dafs die empirische Kurve bei 90° einen gröfseren Werth hat als die theoretische. Ferner ist leicht einzusehen, dafs bei 90° der Einfluſs des von der Glashülle ins Photometer reflektirten Lichtes am gröfsten ist, was eine Abweichung in demselben Sinne zur Folge hat.

b) Maxim-Lampe.

Bezüglich der Maxim-Lampe fand ich keine Gelegenheit, die Dimensionen des Kohlenfadens

zu messen. Es läfst sich aber trotzdem, wenn auch hier von dem an der Glashülle reflektirten Licht Abstand genommen wird, die theoretische Maxim-Kurve, wenigstens angenähert, bestimmen wie folgt:

Die Gleichung der Lichtvertheilung um die Maxim-Lampe lautet:

$$J = C\,[a \,.\, \sin x + b \,.\, \cos x].$$

Berechnen wir nun für 0°, 30°, 45°, 60°, 90° die Intensitätswerthe, so finden zwischen ihnen folgende Beziehungen statt:

$$\frac{J_0 + J_{90}}{J_{45}} = \sqrt{2} = 1{,}414,$$

$$\frac{J_{30} + J_{60}}{J_{45}} = \frac{1 + \sqrt{3}}{\sqrt{2}} = 1{,}932,$$

$$\frac{J_{30} + J_{45}}{J_{45}\sqrt{2}\,(1 + \sqrt{2}) + J_0\,(\sqrt{3} - 1)} = 0{,}500.$$

Mit Hülfe dieser drei Beziehungen läfst sich die theoretische Maxim-Kurve angenähert konstruiren, wenn, wie früher, $J_0 = 1000$ gesetzt und aufserdem die Annahme gemacht wird, dafs einer der in ihnen vorkommenden Intensitätswerthe mit dem ihm entsprechenden empirischen zusammenfalle; nehmen wir z. B. an, J_{30} sei gleich dem unter 30° beobachteten Intensitätswerthe, also $J_{30} = 2888$. Tabelle XV enthält dann eine Zusammenstellung der theoretischen und empirischen Zahlen.

Tabelle XV.

	0°	30°	45°	60°	90°
Theorie	1000	2888	3562	3994	4037
Beobachtung . .	1000	2888	3562	4045	4249

Tabelle XV zeigt, dafs bei der oben genannten Annahme die theoretische Kurve (Fig. 9,

Kurve 3) mit der empirischen (Kurve 1) von 0° bis 60° vollkommen übereinstimmt, von hier an aber etwas abweicht, — eine Abweichung, welche in Hinblick auf die entsprechende, an der Edison-Lampe gemessene Kurve sehr wahrscheinlich ist und auf dieselbe Ursache zurückzuführen sein wird.

§ 14. Bestimmung des Hagenbach'schen Reduktionsfaktors für die Edison- und Maxim-Lampe.

Ist die Intensität in einer beliebigen Richtung in einer Horizontalebene:

$$J = C\,[a \sin x + b \,.\, \cos x],$$

so ist die Gesammtlichtmenge, welche in dieser Horizontalebene ausgesandt wird:

$$Q = 4\,C \,.\, \int_0^{\frac{\pi}{2}} [a \,.\, \sin x + b \,.\, \cos x]\, dx = 4\,C\,[a + b].$$

Denken wir uns andererseits, es werde in der Horizontalebene nach allen Richtungen dieselbe Intensität J' ausgesandt, so ist in diesem Falle die Gesammtmenge des ausgesandten Lichtes:

$$Q' = 4 \int_0^{\frac{\pi}{2}} J' \,.\, dx = 2\,J' \,.\, \pi.$$

Wenn wir nun setzen:

$$Q' = Q,$$

so ist J' die mittlere horizontale Lichtintensität, und zwar:

$$J' = \frac{2\,C\,[a + b].}{\pi}.$$

Dann nennt Herr Hagenbach [1]) das Verhältnifs:

$$\frac{J'}{J_{45}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0{,}900$$

[1]) Berichte der Münchener Elektr. Ausstellung, II. Th., S. 110.

den theoretischen Reduktionsfaktor. Denselben Zahlenwerth erhält Herr Voit[1]), indem er seinen theoretischen Betrachtungen eine andere Gleichung für die Lichtvertheilung in einer Horizontalebene zu Grunde legt.

Wenn man die mittlere horizontale Lichtintensität ausrechnet, indem man aus sämmtlichen Beobachtungen das arithmetische Mittel nimmt und dann dieselbe durch die bei 45° beobachtete Intensität dividirt, so erhält man den empirischen Reduktionsfaktor.

Tabelle XVI.

Lampe.	Reduktionsfaktor:		
	theoretischer.	empirischer.	
		Möller	Voit
Edison	0,900	0,930	0,931
Maxim	0,900	0,892	0,924

Herr Voit geht in seinen theoretischen Betrachtungen weiter zur räumlichen Lichtintensitätsvertheilung und leitet einen Ausdruck her, den Herr Hagenbach Reduktionsfaktor der mittleren räumlichen Lichtintensität[2]) nennt. Er bestimmt denselben für die von ihm gemessenen Glühlampen und benutzt ihn später bei seinen absoluten Messungen[3]). Die Berechnung dieses Faktors beruht jedoch auf der Annahme, dafs, wenn man um den Schwerpunkt des Kohlenfadens eine Kugel konstruirt, die Lichtvertheilung, welche auf einer vom Kugelmittelpunkt aus durch einen beliebigen Parallelkreis gelegten Kegelfläche stattfindet, dieselbe ist wie in der durch den Mittelpunkt gelegten Horizontalebene.

1) Berichte der Münchener Elektr. Ausstellung, II. Th., S. 111.
2) Berichte der Münchener Elektr. Ausstellung, II. Th., S. 115.
3) Berichte der Münchener Elektr. Ausstellung, II. Th., S. 116.

Da Herr Voit nur in einer Vertikalebene beobachtete, so konnte er seine Annahme nicht kontroliren; da ich jedoch aufser in derjenigen Vertikalebene, in der Herr Voit gemessen, noch in der dazu senkrechten Ebene Beobachtungen angestellt habe, so kann ich seine Annahme prüfen und finde dieselbe nicht bestätigt. Wäre sie in der Wirklichkeit erfüllt, so müfsten die von mir in beiden zu einander senkrechten Vertikalebenen gemessenen Kurven gleich sein, was aber nicht der Fall ist. Ich gehe nicht auf eine Diskussion der Fehler ein, welche durch jene Annahme in den Rechnungen des Herrn Voit hervorgerufen worden sind.

Phys. Inst. der Univ. Strafsburg i. E.,
Oktober 1884.

Vita.

Ich, Wilhelm Heinrich Johannes Möller, wurde am 9. März 1861 zu Rendsburg geboren. Nachdem ich den Elementar-Unterricht in der städtischen Bürgerschule erhalten, trat ich Ostern 1869 in die Sexta des dortigen Real-Gymnasiums ein und verliefs dasselbe nach bestandenem Abiturienten-Examen Michaelis 1879, um mich dem Studium der Mathematik und der Naturwissenschaften zu widmen. Zunächst bezog ich die Universität Berlin auf zwei Semester und ging dann zur Fortsetzung meiner Studien nach Strafsburg. Vorlesungen habe ich gehört bei folgenden Herren Dozenten: E. du Bois-Reymond, Braun, Bruns, Christoffel, Foerster, Glan, Groth, v. Helmholtz, Hoppe, W. Kohlrausch, Kummer, Kundt, Laas, Liebmann, Netto,

Reye, K. Schering, O. Schmidt, Schur, Vaihinger, Wangerin, Windelband, Winnecke. Allen meinen verehrten Lehrern sage ich meinen besten Dank, insbesondere Herrn Prof. Dr. Kundt, der mich bei dieser Untersuchung aufs Freundlichste unterstützte.